# MIDI-interfaces

**MIDI-instrumenten produceren muziek als u seriële woorden in de ingang stuurt. Tussen de 'normale' elektronica en de MIDI-apparatuur moet u echter een speciale stroomgestuurde lus opnemen: de MIDI-interface.**

**Auteur:** Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
**Email:** josverstraten@live.nl
**Publicatiedatum:** 17-03-2019

## Kennismaking met MIDI

### De muzikale bus

Tegenwoordig werken alle elektronische muziekinstrumenten volledig digitaal. Op digitaal gebied is het uitwisselen van informatie veel gemakkelijker dan op analoog gebied. Digitale codes kunnen immers gemakkelijk gestandaardiseerd worden! Zodoende ontstond op een bepaald moment een geweldig idee. Als er internationaal een of andere communicatie-standaard zou kunnen worden afgesproken, dan zou het mogelijk zijn verschillende digitaal werkende elektronische muziekinstrumenten met elkaar te laten samenwerken.
Een digitale synthesizer en een digitale drumbox zouden, volgens dit idee, bestuurd kunnen worden door één 'elektronische dirigent', zodat het mogelijk zou zijn een volledig elektronisch orkest bijvoorbeeld vanuit een gewone PC te dirigeren. Omdat alle digitale muziekinstrumenten toch al een of andere microcontroller hebben ingebouwd, lag een computer-georiënteerde communicatievorm voor de hand.

### MIDI, een op RS-232 gebaseerde bus

Dat is het idee achter MIDI: een op de RS-232C gebaseerde seriële bus, waarmee u gegevens naar en van microcontroller gestuurde muziekinstrumenten kunt versturen. Alle synthesizers, drummachines, keyboards, orgels, sequencers, et cetera zijn standaard voorzien van minstens één MIDI-aansluiting. Alle PC besturingssystemen kunnen MIDI-bestanden afspelen.

### De definitie van MIDI

MIDI staat voor '***M**usic **I**nstrument **D**igital **I**nterface*'. Het is een reeds in 1983 afgesproken internationale standaard, waarmee elektronische muziekinstrumenten met elkaar kunnen communiceren. Het woord communiceren doet denken aan netwerk. De MIDI-standaard is inderdaad zo opgezet dat u er gemakkelijk een muzikaal netwerk mee kunt samenstellen. Het systeem is gebaseerd op het vanouds bekende RS-232C protocol. Er zijn echter belangrijke hardware- en softwarematige verschillen tussen de RS-232C standaard en de MIDI-standaard.

### De MIDI-1.0 standaard

De oorspronkelijke standaard heeft versienummer 1.0 en is zeer transparant en eenvoudig te begrijpen. Deze standaard biedt de mogelijkheid maximaal zestien apparaten aan de MIDI-bus aan te sluiten.

### Kennismaking met het protocol

Hoewel dit artikel niet gaat over de software van MIDI, dus het protocol, maar over de specifieke hardware, geven wij tóch enig inzicht in de commandostructuur van MIDI-1.0.
Eerst moet u een ***MODE***-instructie versturen, waarmee u:

- De daaropvolgende gegevens naar alle apparaten kunt versturen.

- De daaropvolgende gegevens naar één specifiek apparaat kunt versturen.
- De daaropvolgende gegevens naar één stem van een meerstemmig apparaat kunt versturen.

Nadien volgt een ***DATA***-instructie, waarmee u:

- De toonhoogte van een noot kunt bepalen.
- De tijdsduur van een noot kunt vastleggen.
- De aanslagsterkte van een klaviertoets kunt definiëren.

**Het basissysteem van MIDI**
De MIDI-standaard werkt met een seriële tweedraads verbinding en kent drie aansluitingen:

- MIDI-OUT
- MIDI-IN
- MIDI-THRU

Dank zij de THRU kunt u op een heel eenvoudige manier een muzikaal netwerk samenstellen. De basisconfiguratie van een MIDI-systeem is getekend in onderstaande figuur. De uitgang van de besturende controller schakeling, dat kan een computer of een zogenoemde sequencer zijn, stuurt de gegevens via zijn OUT naar de IN van het eerste apparaat van de keten. De gegevens worden in het apparaat verwerkt en via de THRU van het eerste apparaat uit de keten verder doorgelust naar de IN van het tweede apparaat. Het eerste apparaat van de keten kan eventueel via zijn OUT gegevens terugkoppelen naar de IN van de controller. Dat is echter geen eis en er bestaan tal van MIDI-netwerken waar van deze mogelijkheid geen gebruik wordt gemaakt. De besturende schakeling wordt de *'master-controller'* genoemd, de overige apparaten de *'slave's'*.
U kunt in principe tot zestien verschillende apparaten op deze manier met de master verbinden. Dat kunnen synthesizers zijn, maar ook elektronische drumapparaten, ritmeboxen, etc. Het is dus mogelijk vanuit één master een volledig elektronisch orkest te besturen!



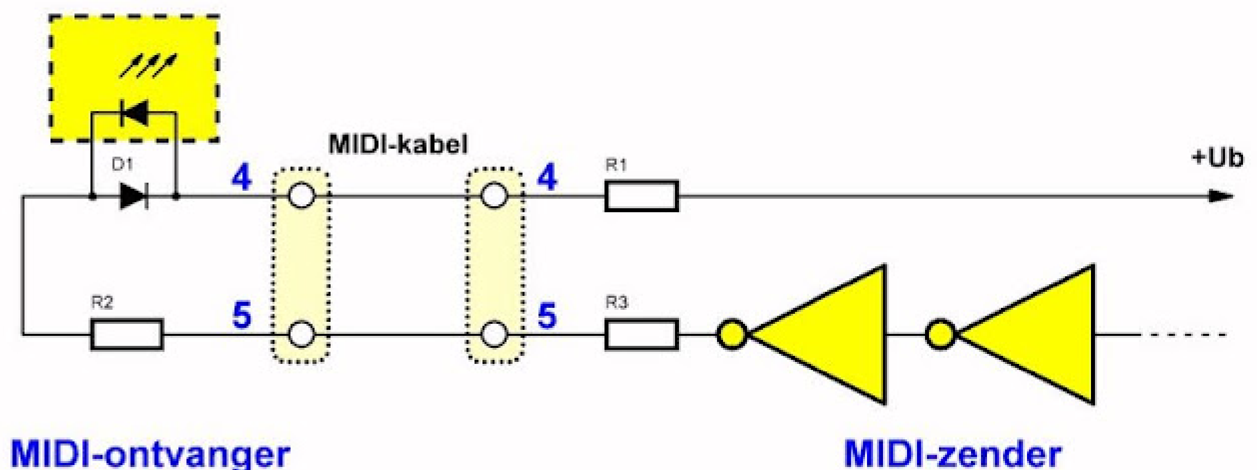
*De basisopzet van een MIDI-systeem. (© 2019 Jos Verstraten)*

## De elektronica van MIDI

**Snelle RS232C standaard**
Het communicatieprotocol van MIDI is in principe niets meer dan een aangepaste versie van het standaard seriële protocol RS232C. Toch zijn er enige significante verschillen. Op de eerste plaats werkt MIDI met een snelheid van 31,25 kBaud, hetgeen aanmerkelijk sneller is dan de standaard 19,2 kBaud waarmee RS232C werkt. Toch is zelfs de snelheid van 31,25 kBaud voor sommige ingewikkelde netwerken te laag, waardoor er tíjdvertragingen kunnen optreden tussen het uitzenden van een instructie en de reactie van een van de slave's. Dat probleem is echter technisch tamelijk eenvoudig op te lossen door het in het netwerk opnemen van een zogenoemde *'star-expander'* (lees verder).

**Stroomlus met optische koppeling**

Op de tweede plaats werkt de MIDI-standaard niet met spanningen, maar met stromen. De MIDI-interface is op te vatten als een stroomlus, die een stroom van 5 mA door het netwerk stuurt. Een tweede belangrijk kenmerk is dat deze stroom in het ontvangende apparaat steeds door middel van een optische koppelaar wordt omgezet in een spanning. Dank zij deze optische koppeling bestaat er een volledige galvanische scheiding tussen de diverse apparaten die op het netwerk zijn aangesloten. Dat is zeer belangrijk, omdat het in praktische situaties vaak voorkomt dat niet alle apparaten via een geaard stopcontact aan elkaar hangen. Er kunnen dan tamelijk grote spanningsverschillen ontstaan tussen de chassis van deze apparaten. Zonder de volledig galvanische scheiding zou dit grote problemen kunnen veroorzaken! De basisopzet van deze optische stroomlus is getekend in de onderstaande figuur.
Pen 4 van de OUT van de zender (rechts in de figuur) is verbonden met een positieve voedingsspanning. Deze pen gaat naar pen 4 van de IN van de ontvanger. Tussen deze pen en pen 5 van de IN-connector staat een optische koppelaar geschakeld. Pen 5 van de IN van de ontvanger gaat via de kabel weer terug naar pen 5 van de OUT van de zender (links), waar meestal een open-collector poort staat die deze pen naar de massa trekt. Op dat moment gaat er stroom door de gesloten keten lopen en de LED uit de optische koppelaar licht op. Over de LED van de optische koppelaar is steeds een tweede diode geschakeld. Deze staat echter in sper ingesteld.

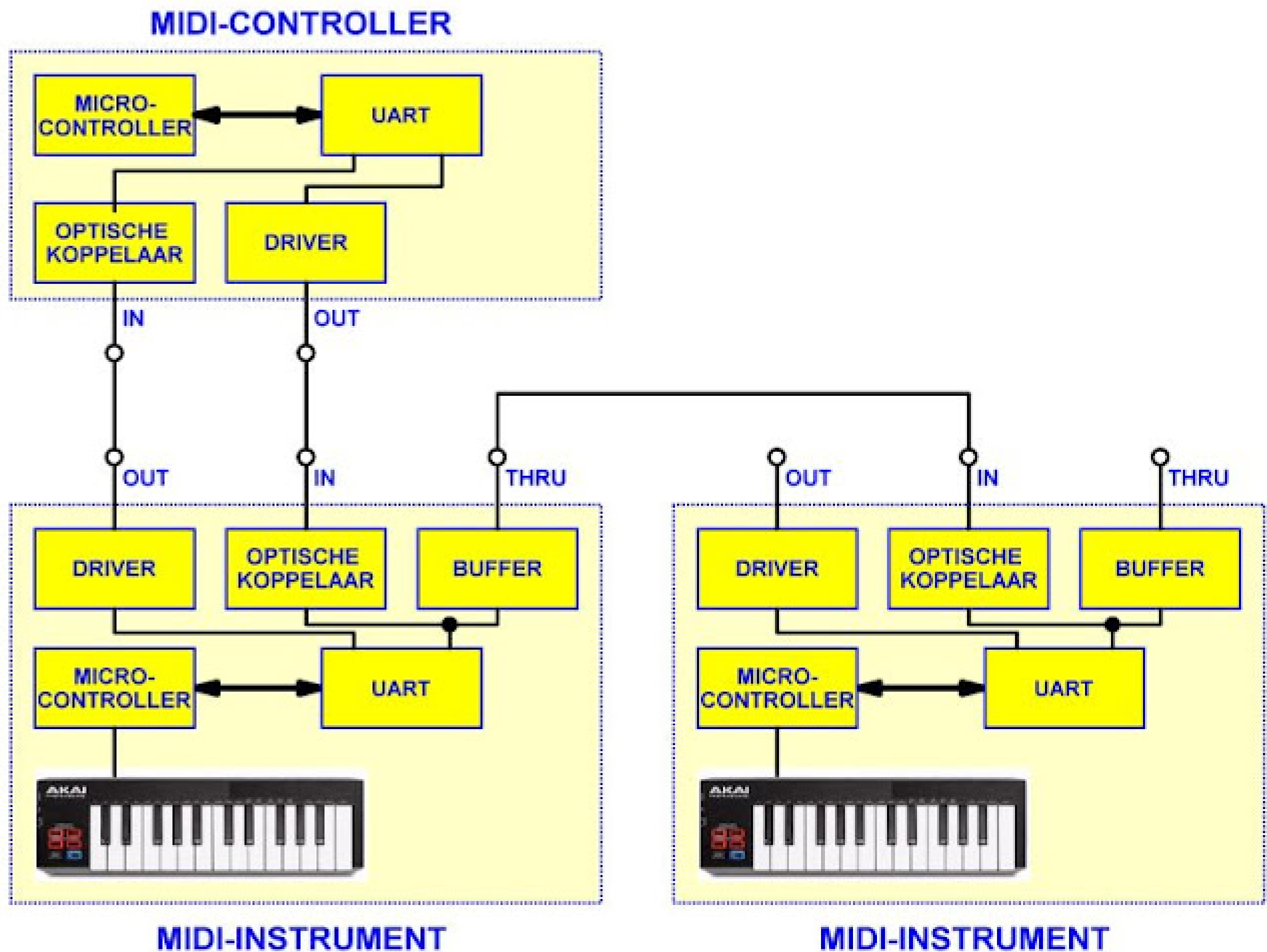



*De stroomlus van het MIDI-systeem. (© 2019 Jos Verstraten)*

**Negatieve logica**
De belangrijkste eigenschap van de MIDI-stroomlus is dat gewerkt wordt met negatieve logica. De stroomlus moet uiteraard met spanningen gestuurd worden. In de meeste gevallen zullen dat de normale 'L'- en 'H'-signalen zijn van een computer, waarbij 'L' staat voor een spanning kleiner dan 0,4 V en 'H' voor een spanning groter dan +2,4 V. De stroom gaat door de keten lopen als er op de ingang van de open-collector poort een logische 'L' wordt aangelegd.

**Het uitgebreide MIDI-netwerk**
Aan de hand van de tot nu toe bekende gegevens kan het basisschema van de eerste afbeelding iets meer elektronisch ingevuld worden. Blokschematisch zou een MIDI-verbinding tussen een MIDI-controller en twee MIDI-instrumenten er uit kunnen zien zoals getekend in onderstaande figuur.
Uit dit schema volgt één belangrijke eigenschap van de MIDI-elektronica. De optische koppelaar is steeds aanwezig in de elektronica die na de IN-connector volgt. De stuurelektronica van de OUT-connector bevat steeds de open-collector transistor of poort, die verantwoordelijk is voor het vloeien van de lusstroom.
De doorkoppellus via de THRU-connector wordt uit de IN gestuurd via een bufferschakeling die ervoor zorgt dat tussen de THRU en de IN van het volgende apparaat weer een stroomlus kan ontstaan.
Er is dus geen sprake van één grote stroomlus, die door de gehele keten vloeit, maar van een kettingsysteem. De stroomlus tussen de controller en het eerste apparaat van de ketting

zorgt via de buffer voor het vloeien van de tweede stroomlus tussen apparaat 1 en apparaat 2, et cetera. Het gevolg van dit principe is dat in een lange ketting er heel wat optische koppelaars in- en uitgeschakeld moeten worden. Nu zijn dergelijke onderdelen niet erg snel, met als gevolg dat er vrij grote vertragingen in het systeem kunnen ontstaan. Vandaar dat men de oorspronkelijke kettingvormige opzet van het MIDI-netwerk in de praktijk vaak vervangt door een parallelle ster-structuur. Maar daarover later meer!




*Een elektronische uitwerking van het MIDI-principe. (© 2019 Jos Verstraten)*

## De gestandaardiseerde MIDI-connector

**De oeroude DIN-connector in ere hersteld**
Als gestandaardiseerde connector voor het MIDI-systeem heeft men gekozen voor de oude, vertrouwde 5-polige DIN-connector. De vijf pennen van deze connector staan, zie onderstaande figuur, over een hoek van 180° verspreid. De pennen 1 en 3 worden niet gebruikt. De twee pennen 4 en de twee pennen 5 van beide connectoren aan weerszijden van een MIDI-kabel worden simpelweg met elkaar verbonden.
Let op dat sommige kant-en-klare DIN-kabels bedoeld zijn voor audio-gebruik en kruiselings gekoppelde aansluitingen hebben. Dan gaat pen 4 van de ene connector naar pen 5 van de andere en vice versa. Deze kabels zijn dus niet geschikt voor het MIDI-protocol!
Een tweede belangrijk punt is dat de afscherming van de kabel alleen bij de OUT- of THRU-kant verbonden wordt met pen 2 van de connector. Aan de IN-kant mag deze aarding niet aanwezig zijn. Alleen op deze manier kan de absolute galvanische scheiding tussen de diverse apparaten gegarandeerd worden.

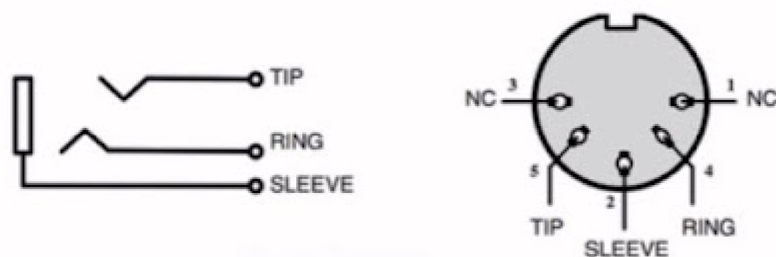


*De standaardkabel voor het MIDI-protocol. (© 2019 Jos Verstraten)*

**MIDI en USB**
Tegenwoordig kunt u uiteraard ook uw PC gebruiken als MIDI-controller. Nu heeft dat apparaat geen MIDI-connector. Vandaar dat u USB-naar-MIDI kabels kunt kopen, waarmee u een koppeling kunt maken tussen uw PC en MIDI-apparatuur. De elektronica zit in een in de kabel geïntegreerd kastje en wordt gevoed uit de 5 V van de USB-connector. De kabel bevat een MIDI-IN en een MIDI-OUT connector.


*Aansluiten van uw PC op MIDI-apparatuur via een USB/MIDI-kabel. (© Roland)*

**De nieuwe TRS-connector**
TRS staat voor ***'Tip-Ring-Sleeve'*** en dit is de allernieuwste MIDI-connector. TRS maakt gebruik van de in de audio-techniek zeer bekende 2,5 mm jack-connectoren die u bijvoorbeeld op veel hoofdtelefoons aantreft. Deze MIDI-connector kan gebruikt worden op miniatuur apparatuur, waar geen plaats is voor de vrij fors uitgevallen en ouderwetse DIN-connectoren. In de onderstaande figuur is voorgesteld hoe de drie MIDI-signalen op deze connector worden aangesloten.

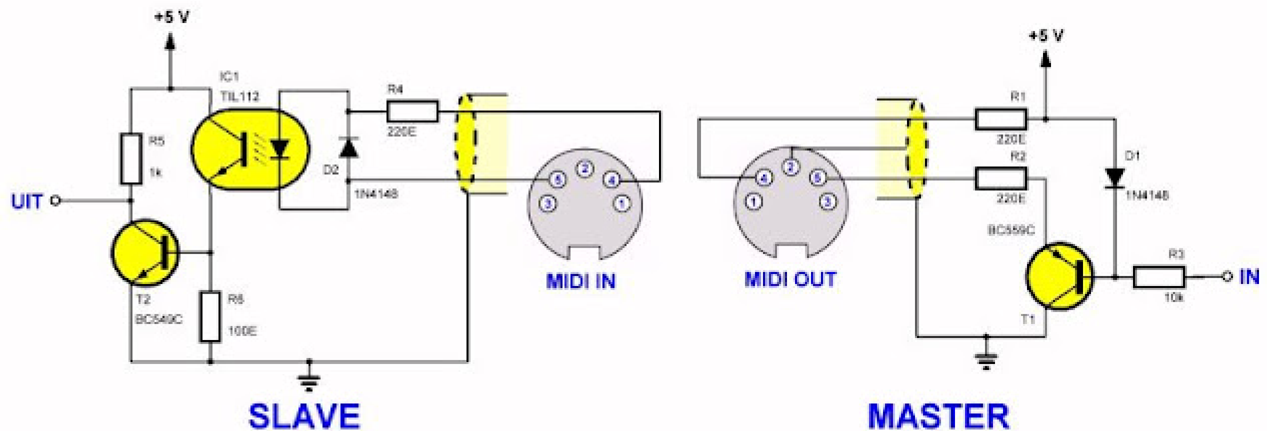


*De nieuwe 2,5 mm jack-connector 'TRS'. (© MIDI.org)*

## De MIDI-interface

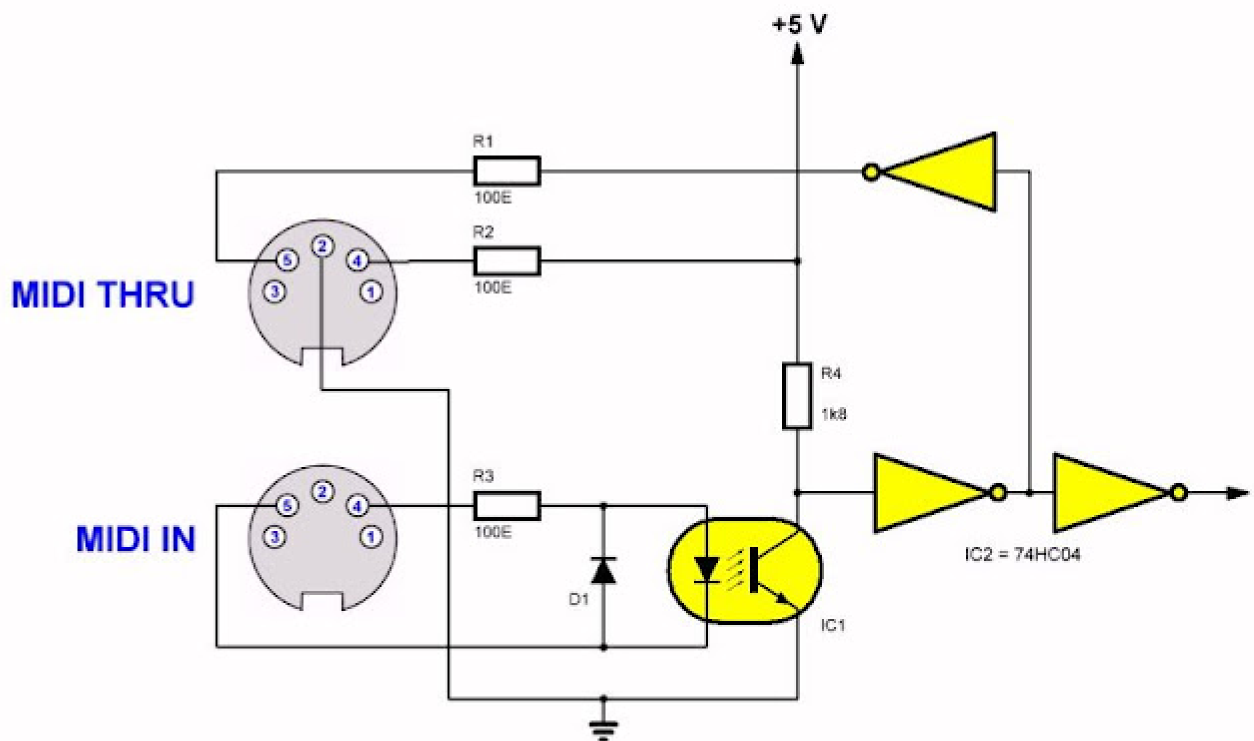
**Een praktische MIDI-interface**
In de onderstaande figuur is een praktische elektronische vertaling van het principe van de stroomlus getekend. De +5 V gaat via een weerstand R1 van 220 Ω naar pen 4 van de OUT-connector van de master. Via de kabel komt het signaal op pen 4 van de IN van de slave. Vandaar gaat het signaal via de weerstand R4 naar de lichtgevende diode in de optische koppelaar TIL112. De kathode van deze LED gaat naar pen 5 van de IN van de slave en via de kabel terug naar pen 5 van de OUT van de master. Via een derde weerstand van 220 Ω

gaat het signaal naar de collector van de PNP-transistor T1.
De basis van deze transistor wordt via de diode D1 met de +5 V voeding verbonden. In rust is er geen spanningsverschil aanwezig tussen de emitter en de basis en de transistor zal niet geleiden. Er vloeit geen stroom door de keten. Wordt de ingang echter naar 'L' getrokken, dan zal er via de weerstand R3 een stroom gaan vloeien door de basis/emitter-overgang van de transistor. De halfgeleider gaat geleiden en de stroom vloeit door de keten. De LED in de TIL112 licht op. Deze stuurt de foto-transistor in de koppelaar in geleiding. De positieve spanning die op de emitter ontstaat wordt via de transistor T2 omgezet in een 'L' op de collector.
Besluit: een 'L' op de stuuringang van de master heeft dus een 'L' op de uitgang van de slave tot gevolg.



*Een praktisch bruikbare schakeling om een OUT aan een IN te koppelen.*
*(© 2019 Jos Verstraten)*

**De THRU-connector**
Het zal duidelijk zijn dat het niet zonder meer mogelijk is de THRU-connector in de stroomlus tussen de OUT en de IN op te nemen. Tussen de IN en de THRU moet een kleine interface worden opgenomen, die ervoor zorgt dat de primaire stroomlus een secundaire stroomlus genereert. Een dergelijke eenvoudige interface-schakeling is getekend in de onderstaande figuur. Het signaal dat via de optische koppelaar IC1 in de IN-lus wordt opgepikt, wordt via een poort uit IC2 versterkt en gaat via een tweede poort en een serieweerstand naar pen 5 van de THRU-connector. Pen 4 van deze connector gaat uiteraard weer via een weerstand naar de +5 V. Op deze manier werkt de THRU als OUT als deze connector wordt verbonden met de IN-connector van het volgende apparaat uit de ketting.




*Een interface-schakeling voor het koppelen van de THRU-connector aan de IN-connector. (© 2019 Jos Verstraten)*

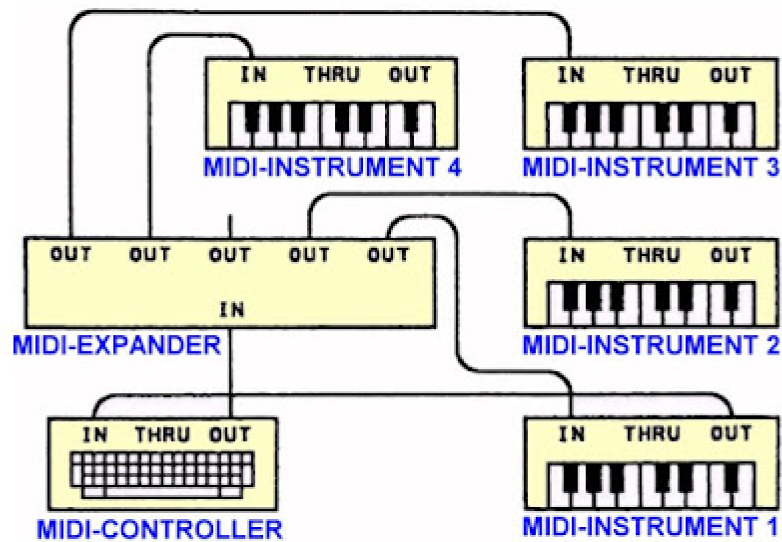
**De ster-koppeling**

Zoals reeds geschreven heeft het doorlussen van de stromen via optische koppelaars een niet onaanzienlijke vertraging tot gevolg. In grote MIDI-systemen kan dit tot timingproblemen leiden, die zelfs zware synchronisatiefouten in het ten gehore brengen van instrumenten of stemmen tot gevolg kunnen hebben. Dat probleem wordt in de praktijk heel eenvoudig opgelost door een zogenaamde ster-koppeling te ontwikkelen. Er bestaan daarvoor speciale apparaten, maar een dergelijk systeem is voor iedere zelfbouwer eenvoudig in elkaar te sleutelen.

Het basisprincipe van de ster-koppeling is getekend in onderstaande figuur. De MIDI-controller stuurt het signaal van zijn OUT naar de IN van de zogenoemde MIDI-expander. Dit apparaat heeft verschillende uitgangen, die verbonden worden met de IN van de op het systeem aangesloten MIDI-apparatuur.

Het eerste instrument kan eventueel via zijn OUT teruggekoppeld worden naar de IN van de controller. De primaire stroom die tussen de OUT van de controller en de IN van de expander vloeit, zal stromen genereren in alle OUT-kringen van de expander. Het zal duidelijk zijn dat er nu veel minder optische koppelaars in iedere verbinding zijn opgenomen en dat de vertragingstijden niet alleen veel kleiner worden, maar bovendien aan elkaar gelijk zijn. Tussen de OUT van de MIDI-controller en de IN van de MIDI-apparatuur staan nu immers steeds slechts twee optische koppelaars:

- Een in de IN-keten van de expander.
- Een in de IN-keten van ieder apparaat.

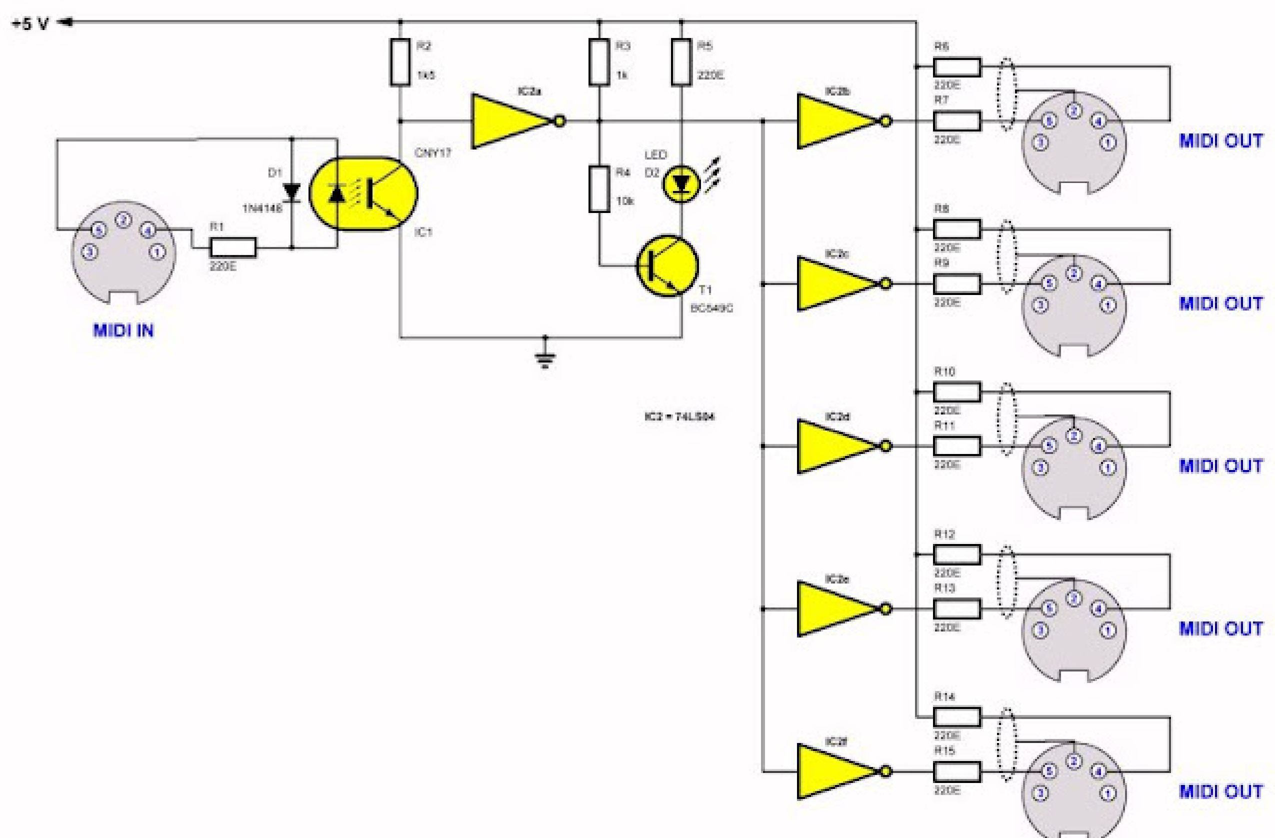



*Ster-koppeling door middel van een MIDI-expander. (© 2019 Jos Verstraten)*

**Praktische schakeling van een MIDI-expander**

In de onderstaande figuur is een praktisch schema getekend van een MIDI-expander met vijf uitgangskanalen. De IN wordt op de reeds beschreven manier afgesloten met een 220 Ω weerstand en een optische koppelaar. De spanningsval over de collectorweerstand van de fotogevoelige transistor uit de optische koppelaar wordt via een inverter met open collector uitgang IC2a omgezet in een hoog signaal. Dit signaal gaat naar vijf identieke inverters. De uitgangen van deze inverters gaan via weerstanden van 220 Ω naar de pennen 5 van de OUT-connectoren. Zoals gebruikelijk zijn de pennen 4 van deze connectoren via een weerstand van 220 Ω verbonden met de +5 V voedingsspanning.

Op de uitgang van de eerste inverter is een transistor aangesloten die belast wordt met een LED. Deze schakeling vervult een controlefunctie, waarmee u kunt controleren of de MIDI-gegevens door het apparaat ontvangen en verwerkt worden.

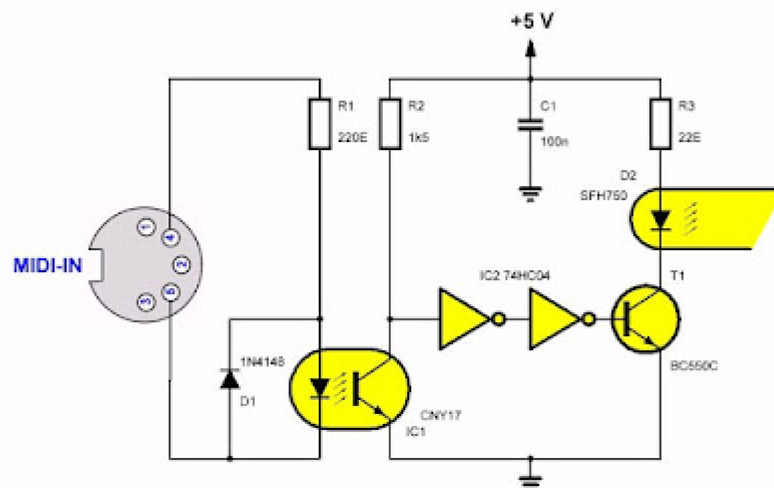



*Het praktische schema van een MIDI-expander. (© 2019 Jos Verstraten)*

## Optische MIDI-overdracht

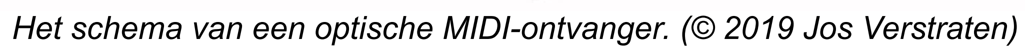
**Glasvezelkabels**
In moderne MIDI-apparatuur wordt steeds vaker gekozen voor een data-overdracht via glasvezelkabels. In dergelijke systemen is de galvanische scheiding tussen de apparatuur uiteraard maximaal gegarandeerd. Ook op dit gebied ligt er een vruchtbaar experimenteerterrein voor de doe-het-zelver.

**Optische MIDI-zender**
In de onderstaande figuur is een praktisch schema getekend van een optische zender, die de normale stroomlus van de OUT-connector kan vervangen. De connector dient als IN en wordt op de bekende manier afgesloten met een serieweerstand R1 van 220 Ω en de LED uit de optische koppelaar IC1. In rust, dus zonder datatransmissie, staat de collector van de optische transistor op 'H'. Gaat de LED branden, dan gaat de transistor geleiden en de collectorspanning wordt 'L'. Dit signaal wordt door twee inverters verwerkt. De tweede inverter stuurt rechtstreeks de basis aan van de eindtransistor. In de collectorleiding is een snelle infrarode LED D2 opgenomen, die u moet koppelen aan de glasvezel die de verbinding verzorgt.




*Een praktisch schema van een optische MIDI-zender. (© 2019 Jos Verstraten)*

**Optische MIDI-ontvanger**
In de onderstaande figuur is het schema getekend van de optische ontvanger. Basis van de schakeling is de PIN-diode D1. Deze staat in serie met de weerstand R1. Als de diode getroffen wordt door het licht dat via de glasvezel wordt getransporteerd zal de lekstroom over de weerstand R1 een spanning opwekken. Over de weerstand staat een laagdoorlaat filter C1/R2. Dit filter onderdrukt 50 Hz en 100 Hz signalen. Het gefilterde signaal wordt nadien door de FET T1 versterkt.
De schakeling rond de transistoren T2 en T3 is een zogenoemde *'cascade-versterker'*. Deze schakeling is ingesteld op een versterkingsfactor van tien. De schakeling wordt gekenmerkt door een zeer grote bandbreedte, zodat de vrij snelle MIDI-signalen zonder al te veel vervorming op de uitgang van de versterker verschijnen. Dank zij deze versterker kunt u afstanden tot ongeveer 20 m overbruggen. De operationele versterker IC1 is geschakeld als comparator. De spanningsdeler R11/R12/R13 levert twee comparatorniveaus. Het onderste niveau wordt via de weerstand R10 teruggekoppeld naar de signaalingang. Dank zij deze schakeling zullen zelfs vrij kleine en vrij vervormde MIDI-pulsen toch zonder fouten worden omgezet in een mooi digitaal woord. De LM311 heeft een open collector uitgang, vandaar dat de schakeling belast wordt met een externe weerstand R14. Deze uitgang wordt afgesloten met de gebruikelijke MIDI-interface.
De open-collector poort IC2 met een weerstand R18 van 220 Ω in serie en een weerstand R17 van 470 Ω naar pen 4 van de OUT-connector. Deze 470 Ω is nu noodzakelijk omdat de schakeling uit +9 V wordt gevoed en de lusstroom tot 5 mA beperkt moet worden.



*Het schema van een optische MIDI-ontvanger. (© 2019 Jos Verstraten)*